

## ارزیابی خشکسالی و آسیب پذیری در نوسانات تولید محصول زعفران در اثر کمبود بارش مطالعه موردی: خراسان رضوی و جنوبی

مرجان کریمی<sup>۱</sup>، محمد بنایان اول<sup>۲\*</sup>، محمد موسوی بایگی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۱۸

### چکیده

خشکسالی به عنوان یکی از مهمترین بلایای طبیعی به طور مستقیم جوامع گیاهی و حتی شهری را از طریق تغییر در دسترسی به منابع آب تحت تأثیر قرار می دهد و منجر به وارد آمدن خسارت های زیادی به زندگی انسان و اکوسیستم های طبیعی می گردد. آسیب پذیری کشاورزی به عنوان آستانه یا درجه ای شناخته می شود که در آن بیشترین احتمال صدمه دیدن سیستم های کشاورزی در اثر تنش وجود دارد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر خشکسالی و ارزیابی آسیب پذیری تولید محصول زعفران است. به این منظور برای سنجش کمی خشکسالی هواشناسی از شاخص های استاندارد شده بارش (SPI)، ناهنجاری بارندگی (RAI) و معیار بارندگی سالانه (SIAP) و شاخص (SPI) به عنوان شاخص منتخب برای ارزیابی آسیب پذیری بر اساس بارش های ماهانه ۶ ایستگاه هواشناسی استان خراسان رضوی و جنوبی طی ۳۰ سال (۱۳۶۵-۹۴) استفاده شد. در بررسی تأثیرات خشکسالی بر تولید یک محصول کشاورزی نیز از شاخص عملکرد نسبی محصول زعفران استفاده گردید. بررسی شدت خشکسالی های رخ داده بیشتر در حد شدید و بسیار شدید بود. شاخص های RAI، SIAP و SPI روندی همسو با شاخص های زراعی مرتبط با تولید زعفران در شهرهای بیرجند، گناباد، قائن، کاشمر نشان داد. اما شاخص SIAP و SPI از نظر شدت خشکسالی های برآوردی با شاخص عملکرد نسبی همخوانی بیشتری داشتند. شاخص های خشکسالی در شهرستان های تولیدکننده زعفران در استان خراسان رضوی و جنوبی در طی ۱۰ سال گذشته تا حد قابل توجهی با روند کاهش نسبی عملکرد زعفران در طی این دوره انطباق نشان داد. در این پژوهش، نتایج بررسی آسیب پذیری در طی سال های ۹۵-۶۵ نشان داد عملکرد زعفران در تمام مناطق مورد مطالعه، حساسیت کم به دوره خشکسالی داشته است.

واژه های کلیدی: مقیاس زمانی، بلایای طبیعی، عملکرد نسبی، شاخص استاندارد شده بارش

### مقدمه

(Hayes., 1999). پایش خشکسالی هواشناسی یکی از بخش های مهم و حیاتی در کاهش خطر خشکسالی در مقیاس جهانی است (Li et al., 2017). در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران ارزیابی خشکسالی هواشناسی از اهمیت حیاتی برای مدیریت منابع طبیعی و کشاورزی برخوردار است. علاوه بر این، خشکسالی ممکن است تحت تأثیر تغییر اقلیم جهانی پیش بینی شده تشدید شود، بنابراین اهمیت پایش خشکسالی برجسته تر شود (IPCC., 2014). در ایران خشکسالی نیز به کرات اتفاق افتاده و باعث کمبود آب در بخش های مختلف آن شده، به طوری که در ۲۵ سال گذشته ۱۳ مورد خشکسالی گزارش شده است (Banezhad et al., 2006). برای ارزیابی خشکسالی، شاخص های مختلفی از جمله، SPI (شاخص بارش استاندارد<sup>۴</sup>)، PNI (شاخص درصد نرمال<sup>۵</sup>) (Willett et al., 1994)،

کمبود بارش در طی یک دوره طولانی می تواند به زندگی و سلامت بشر، منابع آب و اقتصادی آسیب برساند که معمولاً به عنوان خشکسالی هواشناسی توصیف می شود (Yu et al., 2013). خشکسالی هواشناسی با کمبود بارندگی در هفته ها، ماه ها یا سال ها مشخص می شود (Heim, 2002; Potop et al., 2014; Escalante-Sandoval and Nuñez-Garcia, 2017). خشکسالی از پدیده های زیست محیطی مخرب است، در طول سال های ۱۹۶۷-۱۹۹۱، خشکسالی ۵۰ درصد از ۲/۸ میلیارد افرادی که از حوادث مربوط به آب و هوا رنج می بردند را تحت تأثیر قرار داده است

۱- دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*- نویسنده مسئول: (Email: mobannayan@um.ac.ir)

4- Standardized Precipitation Index  
5- Percent of Normal Index

عملکرد بسیار موثر و مفید باشد. از آنجا که این روند تغییرات عملکرد گیاهان زراعی خصوصا زعفران در مقیاس منطقه ای بسیار آگاهی دهنده است لذا انجام این قبیل مطالعات در ایران با توجه به نقش اقتصادی زعفران در کشاورزی نیز ضروری می باشد. به همین منظور، ارزیابی روند عملکرد زعفران در سال های اخیر و مطالعه رابطه نوسانات آن با در نظر گرفتن تنوع بارش و افزایش وقوع خشکسالی و همچنین بررسی آسیب پذیری مناطق نسبت به عملکرد زعفران هدف این پژوهش قرار گرفته است.

## مواد و روش ها

### مناطق مورد مطالعه

مناطق مورد بررسی شامل شهرستان های بیرجند، قائن، فردوس، کاشمر، گناباد و تربت حیدریه واقع در دو استان خراسان جنوبی و رضوی بودند (شکل ۱). شهرستان های مورد مطالعه از نظر تقسیمات آب و هوایی بر اساس اقلیم کوپن به ترتیب در دو اقلیم نیمه خشک (bs) و معتدل مرطوب (c) دسته بندی شدند (Dinpazho., 2006). استان های خراسان رضوی و جنوبی به ترتیب با مساحت ۱۲۷۰۰۰ و ۸۳۰۰۰ کیلومتر مربع در شمال شرق و شرق ایران قرار دارند. این دو استان به جهت برخورداری از تنوع اقلیمی و شرایط آب و هوایی مناسب و سازگار برای کشت زعفران می باشند. انتخاب نوع محصولات و محل های مطالعاتی قبل از آنکه تابع یک سیستم پایه ای ثابت باشد، تابع تنوع اقلیمی، دسترسی به آمار و اطلاعات و کشت آنها در بیشتر مناطق خراسان بود.

با توجه به این که در این تحقیق ارزیابی ارتباط مشخصه های هواشناسی و شاخص های خشکسالی با عملکرد زعفران مدنظر بود از میانگین متغیر های هواشناسی در بازه زمانی ماهانه استفاده شد. مشخصه های اقلیمی مناطق مورد مطالعه در جدول ۱ گزارش شده است.

داده های سری زمانی ۳۰ سال زراعی (۲۰۱۴-۱۹۸۵) عملکرد محصولات کشاورزی از سازمان جهاد کشاورزی و اطلاعات هواشناسی متناظر با سال های زراعی، از سازمان هواشناسی کشوری جمع آوری گردید. در این مطالعه به دلیل عدم وجود آمار در سری زمانی انتخابی، نیازی به بازسازی داده ها نبود. تمامی داده های زراعی و هواشناسی در رایانه به ترتیب سال های زراعی مرتب و نسبت به نرمال بودن و همگنی آنها به ترتیب از آزمون کلمگروف اسمیرونوف<sup>۷</sup> و آزمون ران<sup>۸</sup> اطمینان حاصل شد. سپس ارتباط و میزان تاثیر و معنی داری پارامترهای هواشناسی و مشخصه های خشکسالی بر عملکرد محصول زعفران مورد بررسی قرار گرفت.

DI (شاخص دهک ها<sup>۱</sup>)، EDI (شاخص خشکسالی موثر<sup>۲</sup>)، CZI (شاخص Z چینی<sup>۳</sup>)، MCZI (شاخص Z چینی اصلاح شده<sup>۴</sup>)، RAI (ناهنجاری بارش<sup>۵</sup>)، ZSI (شاخص عدد<sup>۶</sup>)، طراحی شده است (Byun et al., 1999).

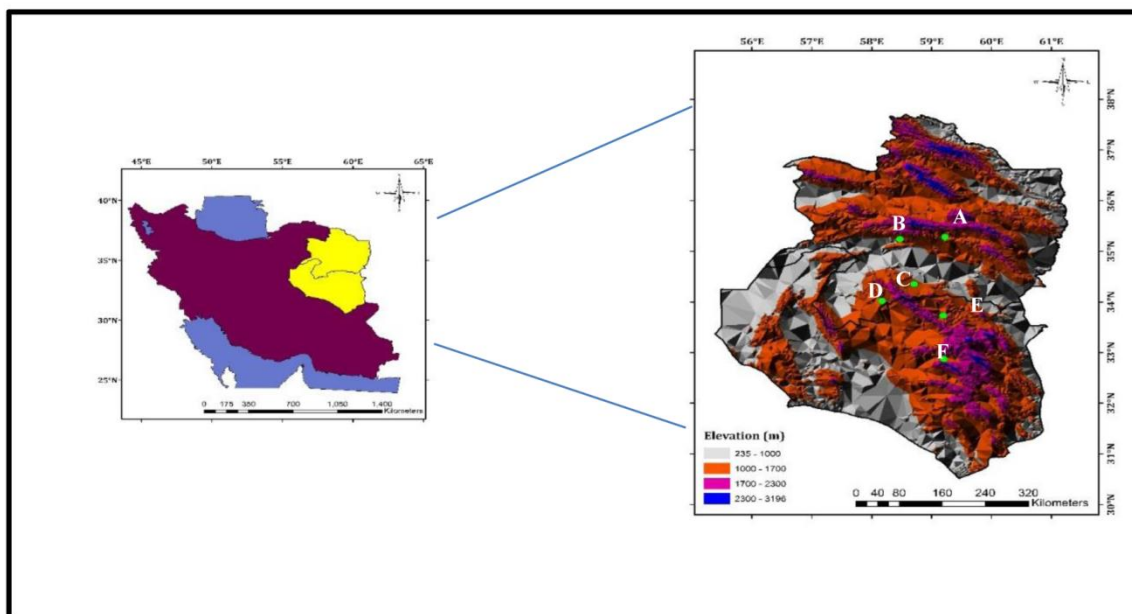
وو و همکاران با استفاده از داده های بارندگی ماهانه، به ارزیابی شاخص های بارش استاندارد شده SPI، Z چینی CZI و نمره-Z (Score) در مقیاس های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه، برای اقلیم های خشک و مرطوب کشور چین پرداختند. این محققین نتیجه گرفتند که هر سه شاخص، نتایج یکسانی را برای همه مقیاس های زمانی به همراه داشته، ولی محاسبات مربوط به شاخص های CZI و عدد Z، برای محاسبه آسان تر از شاخص SPI بودند (Wu et al., 2001).

پایش خشکسالی های استان تهران با استفاده از شاخص های DI، SPI، PN، CZI، MCZI و EDI توسط مرید و همکاران انجام گرفت و به این نتیجه رسیدند که شاخص های SPI و EDI نسبت به شاخص های دیگر بهتر می باشند (Morid et al., 2006). ارزیابی آسیب پذیری (Vulnerability assessment) محصولات کشاورزی یک رویکرد موثر برای تحقق بخشیدن به تاثیرات تغییرات اقلیمی (Climate change)، وقایع شدید آب و هوایی در سیستم های کشاورزی است. تعریف آسیب پذیری بر اساس موضوع و جهت گیری های مختلف متفاوت است. آسیب پذیری به ظرفیت افراد در پاسخ به، بهبود یافتن یا سازگار شدن به استرس های معیشتی که در نتیجه تغییرات محیطی ایجاد شده، گفته می شود (Adger., 2006). سیستم کشاورزی به عنوان یک سیستم بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی چندجانبه، به شدت تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی قرار دارد. رویداد های شدید آب و هوایی مانند خشکسالی اغلب می تواند آسیب ویرانگر به کشاورزی و در نتیجه به جوامع روستایی ایجاد کند (Ren., 2007). نتایج حسینی و نصیری محلاتی در منطقه خراسان نشان دهنده کاهش مداوم عملکرد زعفران در یک دهه گذشته به واسطه تغییرات شاخص های آب و هوایی است به طوری که کاهش ۳۱ تا ۶۶ درصدی عملکرد زعفران در شهرستان های اصلی تولید کننده در خراسان، بادو عامل درجه حرارت و رطوبت ذکر شد (Hosseini et al., 2008). با توجه به تاثیر نوسانات و تغییرات آب و هوایی بر عملکرد محصولات زراعی، مطالعه روند دراز مدت عملکرد این محصولات که بر اساس روش های متداول آماری صورت می گیرد می تواند در تعیین شدت تاثیر عوامل آب و هوایی بر نوسانات

- 1- Deciles Index
- 2- Effective Drought Index
- 3- China Z Index
- 4- Modified CZI Index
- 5- Rainfall Anomaly Index
- 6- Z-Score Index

7- Kolmogorov-Smirnov

8- Run test



شکل ۱- نقشه GIS موقعیت استان در ایران و ایستگاه های مورد مطالعه (A) تربت حیدریه، (B) کاشمر، (C) گناباد، (D) فردوس، (E) قائن، (F) بیرجند

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه

ایستگاه های مورد مطالعه	دوره مطالعاتی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	متوسط بارش سالانه (mm)	میانگین بیشینه دما (°c)	میانگین کمینه دما (°c)
بیرجند	۲۰۱۴-۱۹۸۵	۵۹/۱۲	۳۲/۵۲	۱۴۹۱	۱۶۴	۲۴/۴	۸/۳
قائن	۲۰۱۴-۱۹۸۵	۵۹/۱۰	۳۳/۴۳	۱۴۳۲	۱۷۴/۷	۲۲/۴	۶/۴
گناباد	۲۰۱۴-۱۹۸۵	۵۸/۴۱	۳۴/۲۱	۱۰۵۶	۱۳۱/۹	۲۸/۴	۱۰/۹
کاشمر	۲۰۱۴-۱۹۸۵	۵۸/۲۸	۳۵/۱۲	۱۱۰۹/۷	۱۸۹	۲۳/۹	۱۲
فردوس	۲۰۱۴-۱۹۸۵	۵۸/۱۰	۳۴/۱	۱۲۹۳	۱۴۳/۱	۲۴/۶	۱۰/۲
تربت حیدریه	۲۰۱۴-۱۹۸۵	۵۹/۱۳	۲۵/۱۶	۱۴۵۰/۸	۲۵۷	۲۰/۷	۷/۷

تفکیک شهرستان محاسبه گردید.

$$z = \frac{x - \bar{x}}{\delta} \quad (1)$$

### شاخص های خشکسالی

در این مطالعه شاخص های خشکسالی SPI, RAI, SIAP انتخاب گردید. در سال های زراعی این شاخص ها برای تمامی ایستگاه ها مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج بدست آمده با استاندارد

### استاندارد نمودن داده های عملکرد

جهت شناسایی تاثیر خشکسالی در هر سال، عملکرد آن سال با میانگین عملکرد همان منطقه مقایسه گردید. در این گونه موارد استاندارد کردن داده ها یکی از راه های مقایسه مناسب میزان عملکرد محصول در مناطق مختلف می باشد. برای این کار ابتدا میانگین و انحراف معیار عملکرد زعفران شهرستان محاسبه گردید. سپس با استفاده از رابطه ۱ مقادیر نرمال شده عملکرد های فوق در هر سال به

شده عملکرد زعفران شهرستان های مورد مطالعه مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

### شاخص بارش استاندارد (SPI)

اساس این نمایه بر محاسبه احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است که توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۵) به منظور پایش و تعیین خشکسالی ها ارائه شد (جدول ۲). این شاخص برای مقیاس های زمانی ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه و هم چنین سالانه محاسبه می شود.

محاسبه مقدار این شاخص شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین است. مقادیر شاخص SPI بدست آمده از داده های بلند مدت بارش برای یک دوره زمانی، از توزیع نرمال تبعیت می کند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است. متنوع بودن دوره های زمانی قابل پایش در SPI باعث می شود که در مقیاس های کوتاه مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس های بلند مدت برای اهداف هیدرولوژی مناسب تر باشد. شاخص SPI از معادله ۲ به دست می آید:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (2)$$

در این معادله،  $P_i$  مقدار بارش در دوره مورد نظر،  $\bar{P}$  میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر و  $S$  انحراف معیار مقدار بارش است.

### جدول ۲- طبقه بندی وضعیت خشکسالی هواشناسی به روش

#### شاخص SPI (مک کی و همکاران، ۱۹۹۵)

مقادیر SPI	طبقات خشکسالی
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید <sup>۱</sup> (EW)
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید <sup>۲</sup> (SW)
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط <sup>۳</sup> (MW)
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال <sup>۴</sup> (N)
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط <sup>۵</sup> (MD)
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید <sup>۶</sup> (SD)
-۲ یا کمتر	خشکسالی بسیار شدید <sup>۷</sup> (ED)

### شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI)

اساس شاخص ناهنجاری بارندگی، محاسبه انحراف مقادیر بارندگی از نرمال می باشد (جدول ۳).

مراحل محاسبه این شاخص به صورت زیر است:  
محاسبه میانگین دراز مدت بارندگی در ایستگاه های مورد نظر ( $\bar{P}$ ).

استخراج میانگین ۱۰ مورد از بیشترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره های مطالعاتی ( $\bar{m}$ ).  
استخراج میانگین ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ( $\bar{X}$ ).

مقایسه داده های بارندگی ( $P$ ) یا میانگین دراز مدت بارندگی. چنانچه  $P > \bar{P}$  یا ناهنجاری، مثبت باشد شاخص ناهنجاری بارندگی از معادله ۳ محاسبه می شود:

$$RAI = 3 \left[ \frac{P - \bar{P}}{\bar{m} - \bar{P}} \right] \quad (3)$$

اگر  $P < \bar{P}$  یا ناهنجاری، منفی باشد شاخص ناهنجاری بارندگی از معادله ۴ محاسبه می شود:

$$RAI = -3 \left[ \frac{P - \bar{P}}{\bar{X} - \bar{P}} \right] \quad (4)$$

### جدول ۳. طبقه بندی وضعیت خشکسالی هواشناسی به روش شاخص

RAI	طبقات خشکسالی	شاخص RAI
> ۰/۳	نرمال و بالاتر	> ۰/۳
۰/۳ - -۰/۳	نزدیک نرمال	۰/۳ - -۰/۳
-۰/۳ - -۱/۲	خشکسالی ضعیف	-۰/۳ - -۱/۲
-۱/۲ - -۲/۱	خشکسالی متوسط	-۱/۲ - -۲/۱
-۲/۱ - -۳	خشکسالی شدید	-۲/۱ - -۳
< -۳	خشکسالی بسیار شدید	< -۳

### شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP)

اساس محاسبه شاخص بارندگی سالانه (SIAP) انحراف داده های بارندگی از نرمال می باشد. مقیاس زمانی محاسبه این سنجه، سالانه بوده و علاوه بر پارامترهای میانگین، انحراف معیار استاندارد را نیز مد نظر قرار می دهد. از آن جایی که SIAP یک سنجه استاندارد شده است، مقادیر به دست آمده از آن گویای وضعیت خشکسالی، ترسالی و نرمال است (جدول ۴). مقدار شاخص SIAP در یک سال معین، در برخی ایستگاه ها منفی (خشکسالی) و در برخی دیگر مثبت (ترسالی) است که حاکی از کاهش یا افزایش فراوانی عبور سیستم های باران زایی متفاوتی است که بخش های مختلف کشور را تحت تاثیر قرار می دهد (Bazrafshan., 2009).

برای تعیین شاخص SIAP از معادله ۵ استفاده می شود:

$$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{S.D} \quad (5)$$

بارندگی سالانه =  $P_i$ ، میانگین بارش سالانه =  $\bar{P}$ ، انحراف معیار آن است = S.D

شاخص SIAP بدون بعد می باشد و مقدار آن به طور تجربی بین

- 1- Extremely Wet
- 2- Sever Wet
- 3- Moderately Wet
- 4- Normal
- 5- Morerately Drought
- 6- Sever Drought
- 7- Extremely Drought

عملکرد در یک سال معین و  $Y_0$  میانگین عملکرد در طول سال‌های منتخب است.

$$EXP = N_x / N_T \quad (10)$$

$N_x$  تعداد سال‌هایی که مقدار SPI در آنها در یک دوره زمانی معین از یک حد آستانه پایین‌تر است و  $N_T$  کل تعداد سال‌های مورد نظر می‌باشد.

در این مطالعه مقدار در معرض قرار گیری با در نظر گرفتن فراوانی وقوع دو سطح مختلف مقدار SPI (بین ۱/۵ - تا ۱/۹۹ - برای خشکسالی شدید و بین ۱ - تا ۱/۴۹ - برای خشکسالی متوسط) در دوره‌ی زمانی گذشته در نظر گرفته خواهد شد.

واحد آسیب پذیری تخمین زده شده، همان واحد عامل سلامت تقسیم بر واحد سنجش تنش است. بنابراین واحد آسیب پذیری همان واحد عملکرد است، زیرا SPI شاخصی بدون واحد و استاندارد شده است. آستانه‌های آماری حساسیت سیستم در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۵- آستانه‌های آماری برای طبقات حساسیت سیستم

مقادیر حساسیت سیستم	طبقات حساسیت سیستم
$V_{NEXPI} / SEN / EXP$	
< ۵۰	بسیار کم
۵۰-۱۰۰	کم
۱۰۰-۱۵۰	متوسط
۱۵۰-۲۰۰	زیاد
> ۲۰۰	فوق‌العاده زیاد

### نتایج و بحث

مشخصات آماری بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در جدول ۵ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل اطلاعات بارش ایستگاه‌های مختلف نشان داد که کم‌ترین میزان بارندگی (۴۹/۸ میلی متر) مربوط به ایستگاه گناباد و بیشترین میزان بارندگی (۴۱۶/۵ میلی متر) مربوط به ایستگاه تربت حیدریه است. همچنین بیشترین بارندگی متوسط بلند مدت مربوط به ایستگاه تربت حیدریه و کمترین بارندگی متوسط بلند مدت نیز مربوط به ایستگاه گناباد است. لازم به ذکر است اگر شاخص کشیدگی کمتر از ۳ باشد نشان‌دهنده این واقعیت است که صفات اطراف میانگین کمتر از مقداری است که باید در یک توزیع نرمال باشد و اگر چنانچه بزرگتر از ۳ باشد نمایانگر آن است که اعداد در اطراف میانگین بیش از حد یک منحنی نرمال پراکنده اند.

۳ - و ۳+ تغییر می‌کند. بدیهی است که هر چه مقدار عددی این شاخص کوچکتر باشد خشکسالی شدیدتر و هرچه مقدار عددی این شاخص بزرگتر باشد خشکسالی خفیف تر است.

جدول ۴- طبقه بندی وضعیت خشکسالی هواشناسی به روش

شاخص SIAP	طبقات خشکسالی
مساوی یا بیشتر از ۱/۰	سال خیلی مرطوب
بین ۰/۵ تا ۱/۰+	سال مرطوب
بین ۰/۵ تا ۰/۵+	سال نرمال
بین ۱/۰ تا ۰/۵-	سال خشک
کمتر از ۱/۰-	سال بسیار خشک

### ارزیابی آسیب پذیری

در این مطالعه ارزیابی آسیب پذیری با استفاده از شاخص خشکسالی SPI انجام شد. بدین منظور آسیب پذیری محصول زعفران طی دوره ۳۰ ساله (۹۴-۱۳۶۵) با توجه به روند خشکسالی در شهرستان‌های بیرجند، قائن، فردوس، کاشمر، گناباد و تربت حیدریه محاسبه شده و نتایج حاصله مورد بررسی قرار گرفت. آسیب پذیری تابعی از سه عامل حساسیت، وضعیت سلامت نسبت به آستانه‌ی آسیب و در معرض آسیب قرار گرفتن تعریف می‌شود که برای محاسبه آن از روابط زیر استفاده شد (Ren., 2007).

$$V_{NEXPI} = SEN \times W_i / W_0 \quad (6)$$

$$V_{NEXP} = \bar{V}_{NEXPI} \quad (7)$$

$$V_{EXP} = V_{NEXP} \times EXP \quad (8)$$

که در آن  $V_{NEXPI}$  مقدار آسیب پذیری بدون در نظر گرفتن فراوانی وقوع سطح مورد بررسی تنش در یک سال معین، SEN حساسیت سیستم و  $W_i / W_0$  نزدیکی نسبی سلامت سیستم به آستانه‌ی تخریب و آسیب آن است.

$V_{NEXP}$  میانگین  $V_{NEXPI}$  در چندین سال مختلف است که نشان دهنده‌ی سطح کلی تنش در یک سیستم است که در معرض تنش قرار دارد.

$V_{EXP}$  مقدار آسیب پذیری با در نظر گرفتن فراوانی وقوع سطح مورد بررسی تنش است. EXP مقدار در معرض قرار گرفتن است که به عنوان فراوانی وقوع سطح مورد بررسی تنش است.

$$SEN = Slope_{Y/SPI} = \frac{n \cdot SPI \times Y (SPI) (Y)}{n (SPI)^2 - (SPI)^2} \quad (9)$$

Slope شیب خط رگرسیون است که در مناطق مورد مطالعه محاسبه خواهد شد. n تعداد کل سال‌ها، Y متغیر وابسته و SPI متغیر مستقل می‌باشد.

$W_i / W_0 = Y_i / Y_0$  ،  $Y_0$  به عنوان آستانه‌ی نسبی آسیب، شناسایی می‌شود که از یک مکان به مکان دیگر متفاوت است.  $Y_i$

جدول ۶ - مشخصات آماری بارندگی ایستگاه های سینوپتیک مناطق مورد مطالعه (میلی متر)

ایستگاه های داده آماری	بیرجند	قائن	گناباد	کاشمر	فردوس	ترت حیدریه
میانگین	۱۶۶/۳	۱۶۳/۵	۱۳۶/۴	۱۹۵/۳	۱۳۵/۸	۲۶۶/۹
میانه	۱۶۹/۷	۱۵۲/۵	۱۳۸/۲	۱۹۰/۸	۱۳۲/۱	۲۵۷/۴
انحراف معیار	۴۹/۲	۵۹/۹	۵۲/۷	۵۶/۷	۴۸/۵	۷۷/۸
واریانس	۲۴۲۶/۸	۳۵۹۴/۱	۲۷۸۳/۴	۳۲۱۶/۴	۲۳۵۸/۷	۶۰۶۳/۸
بیشینه	۲۹۲/۷	۳۱۸/۹	۲۲۸/۳	۲۹۹/۱	۲۴۷/۷	۴۱۶/۵
کمینه	۶۴/۷	۵۹/۸	۴۹/۸	۶۴/۷	۶۱/۹	۸۲/۱
دامنه تغییرات	۲۲۸	۲۵۹/۱	۱۷۸/۵	۲۳۴/۴	۱۸۴/۸	۳۳۴/۴
چولگی	۰/۱۵	۰/۷	۰/۲	-۰/۱۱	۰/۴۲	۰/۰۶
کشیدگی	۰/۱۱	۰/۵۷	-۰/۹۹	-۰/۰۲	-۰/۵۹	-۰/۴۸

## روند عملکرد زعفران

اطلاعات مربوط به کمینه، بیشینه، میانگین و انحراف معیار عملکرد زعفران در جدول ۶ نشان داده شده است. بیشینه کمینه

عملکرد زعفران به ترتیب مربوط به شهرستان های قائن و تربت حیدریه و همچنین بیشترین مقدار میانگین عملکرد زعفران در بیرجند و کمترین آن در کاشمر بوده است (جدول ۶).

جدول ۷ - مشخصه های آماری تولید زعفران (کیلوگرم در هکتار) در مناطق مورد مطالعه در طی دوره ی ۳۰ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۵)

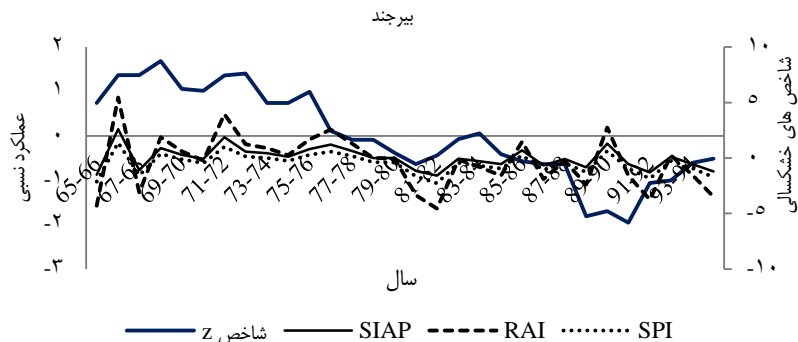
شهرستان	انحراف معیار	میانگین	کمینه	بیشینه
بیرجند	۱/۶	۴/۹	۱/۷	۷/۵
قائن	۱	۴/۶	۱/۳	۸/۲۴
گناباد	۱/۷	۴	۰/۷۴	۷/۱۴
کاشمر	۱/۱	۳/۱	۰/۸	۶
فردوس	۱/۷	۴/۶	۱/۵۶	۸
ترت حیدریه	۱/۱	۳/۷	۰/۷	۶/۱۹

## بیرجند

شکل (۲) روند تغییرات عملکرد زعفران و سه شاخص مورد مطالعه را در بیرجند از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ نشان می دهد. عملکرد محصول زعفران در این شهرستان در مقایسه با میانگین عملکرد زعفران در سال های ۱۳۶۵-۱۳۷۵ به طور چشمگیری افزایش داشته است. بیشترین مقدار عملکرد زعفران در سال ۶۸-۶۹ به میزان ۷/۵ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. شاخص  $RAI$ ,  $SIAP$ ,  $SPI$  به ترتیب سال های نرمال، نرمال و سال مرطوب را برای این منطقه نشان داده اند. وجود همبستگی مثبت و معنی دار بین عملکرد زعفران با هر یک از شاخص های مورد مطالعه نیز تایید کننده این امر می باشد (جدول ۷). پس از سال های ۷۶-۷۵، عملکرد زعفران در شهرستان بیرجند نهایتاً نزول یافته است. پس از محاسبه سه شاخص  $RAI$ ,  $SIAP$ ,  $SPI$  و مقایسه آنها با یکدیگر می توان به این نتیجه رسید که در تمامی ایستگاه های مورد مطالعه، سال پرباران و مرطوب و همچنین سال های کم باران و خشک مشاهده شده اند. البته دوره

های خشکسالی به تناسب بیشتر از دوره های ترسالی بوده است. به طور کلی نوسانات وضعیت رطوبتی (ترسالی و خشکسالی) بسیار کم می باشد، ضمن آنکه با توجه به کوتاه بودن نسبی طول دوره آماری (۳۰ سال) نمی توان به طور قطع از وجود یک سیکل در نوسانات رطوبتی و وقوع خشکسالی مطمئن بود، ولی می توان به این واقعیت اشاره نمود که در مواردی خشکسالی های مهم با فواصل زمانی حدود ۱۱ سال به وقوع پیوسته اند. مطابق این نمودارها هر سه شاخص در ایستگاه بیرجند در مرکز استان خراسان جنوبی، عملکرد پایین زعفران را طی سال های ۹۱-۱۳۹۰ به خوبی نشان می دهد. در سال ۹۰-۸۹ هم عملکرد نزدیک سال ۹۱-۹۰ بوده است در حالی که شاخص ها دوره خشک را نشان نمی دهد. نتایج نشان می دهد که در این سال تعداد روزهایی با دمای بالاتر از ۳۵ درجه سانتیگراد افزایش و از میانگین کل هم بیشتر شده است. به نظر می رسد اختلاف موجود تا حد زیادی به درجه حرارت بستگی دارد.



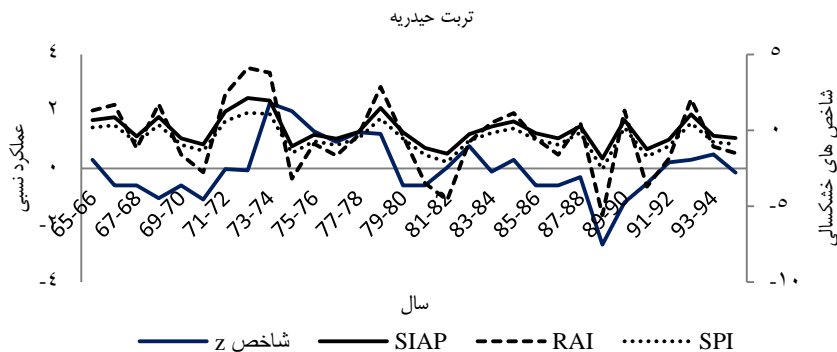


شکل ۲ - سری زمانی عملکرد نسبی زعفران و شاخص SPI، شاخص RAI و شاخص SIAP در بیرجند طی سال‌های ۹۵-۱۳۶۵

است. بطوریکه در این سال‌ها در روش SPI، ۷ سال خشکسالی با درجات مختلف و ۲ سال ترسالی، روش RAI، ۱۸ خشکسالی و روش SIAP، ۹ سال خشکسالی و ۱۰ سال مرطوب را با درجات متفاوت نشان دادند (شکل ۳). روند تغییرات عملکرد در طی ۳۰ سال گذشته از شاخص‌های SIAP، RAI، SPI تبعیت ندارد. کاهش مداوم عملکرد در طی ۱۰ سال دوم و سوم کاملاً مشهود است. لازم به ذکر است که شاخص‌های مذکور با روند تغییرات عملکرد زعفران هماهنگی قابل قبولی را نشان نمی‌دهد. عدم ارتباط معنی‌دار با هر یک از شاخص‌های مورد بررسی نیز تاییدکننده این امر می‌باشد (جدول ۷).

### تریت حیدریه

روند ۳۰ ساله تغییرات عملکرد زعفران در تربت حیدریه (شکل ۳) نشان می‌دهد، که حداکثر عملکرد زعفران در سال ۷۴-۷۳ می‌باشد و سپس روند نسبتاً نزولی را دنبال کرده است. به نظر می‌رسد که عملکرد زعفران واکنش نسبتاً قوی به درجه حرارت دارد. بطوریکه فقط یک روز دمای بالاتر از ۳۵ درجه سانتیگراد در این سال گزارش شده است. هرسه شاخص در سال ۸۹-۱۳۸۸ شدیدترین خشکسالی را نشان می‌دهند با کمترین میزان بارندگی در کل دوره (۸۲/۱ میلی‌متر) و عملکرد زعفران در این سال به حداقل خود در کل دوره رسیده



شکل ۳ - سری زمانی عملکرد نسبی زعفران و شاخص SPI، شاخص RAI و شاخص SIAP در تربت حیدریه طی سال‌های ۹۵-۱۳۶۵

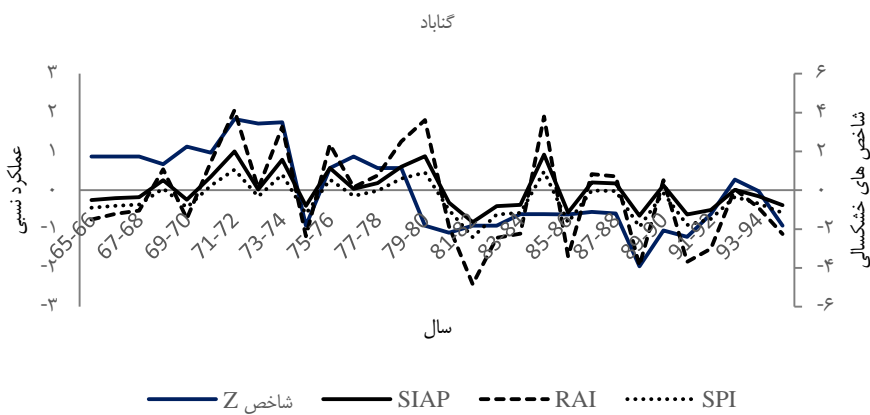
داده‌اند. وجود همبستگی‌های معنی‌دار با هر یک از شاخص‌ها تاییدکننده این امر می‌باشد (جدول ۷). در شکل ۵ برآوردهای سالیانه شاخص‌های خشکسالی در مقایسه با عملکرد نسبی زعفران قائل نمایش داده شده است. شاخص‌های مطالعه شده روند همسویی را در خصوص عملکرد نسبی زعفران دارند (شکل ۵)، زیرا تمامی شاخص‌های انتخابی اقلیمی اند و برتری ذاتی نسبت به یکدیگر ندارند. بر این مبنا تمامی شاخص‌ها تقریباً خشکسالی با شدت‌های مختلف را برای دهه دوم و سوم نشان دادند. همچنین روند کاهش عملکرد در این

### گناباد، قائن و فردوس

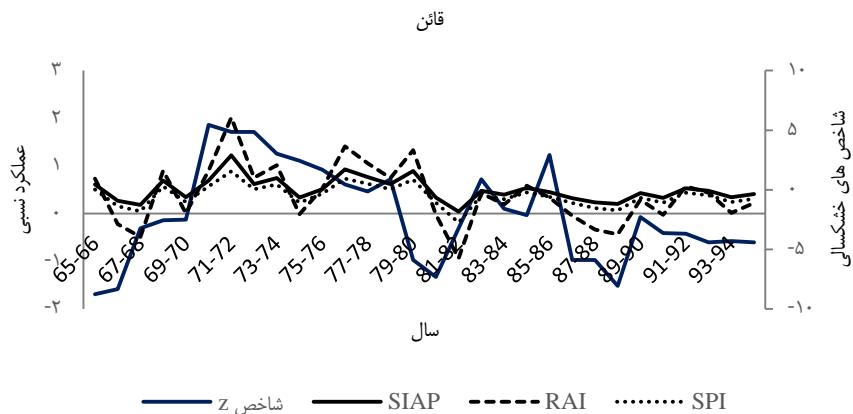
مشابه سایر مراکز تولید زعفران خراسان، در شهرستان‌های گناباد، قائن و فردوس نیز عملکرد زعفران در طی ۱۰ سال دوم و سوم روندی کاهشی از خود نشان می‌دهند. کمترین میزان عملکرد در گناباد ۰/۷ کیلوگرم در هکتار با ۶۵/۷ میلی‌متر بارندگی در سال ۸۹-۸۸ حاصل شده است (شکل ۴). شاخص SPI، RAI و SIAP به ترتیب خشکسالی شدید، حاد و سال بسیار خشک را برای این سال نشان

گناباد و قائن، خشکسالی های زیادی را از نظر تعداد به خود دیده است. به طوری که در مدل RAI، ۱۴ واقعه خشکسالی و در مدل SIAP، ۱۱ واقعه خشکسالی و روش SPI ۱۰ واقعه خشکسالی و را در طی دوره ۳۰ ساله نشان داده شده است. وجود تعداد بالای خشکسالی با پیش بینی های زویرس و همکاران مبنی بر افزایش خشکسالی جهانی و افزایش تغییرات در عرض های میانه شمالی به علت کاهش پوشش برف همخوانی دارد (Zweirs et al., 2004). وجود تعداد زیاد خشکسالی و تکرار آن در فواصل زمانی کوتاه، نشان از کوتاه شدن دوره بازگشت خشکسالی دارد. لذا باید انتظار تغییرات وسیع تر اقلیم را در اثر کوتاه شدن دوره بازگشت و تاثیرات شدید بر فعالیت های انسانی و محیط زیست داشت.

دوره به خوبی مشهود است. شاخص های SPI، RAI و SIAP به ترتیب ۱۳، ۳۰ و ۳۶ درصد از ۳۰ سال مورد مطالعه خشکسالی با درجات متفاوت را نشان می دهد. جدول ۶ نشان می دهد که پایین ترین عملکرد زعفران فردوس در سال ۸۷-۸۸ حاصل شده است که شاخص های SPI، RAI و SIAP به ترتیب سال های نرمال، متوسط، نرمال، را نشان می دادند. عدم ارتباط معنی داری با هر یک از شاخص های مورد بررسی نیز تاییدکننده این امر می باشد (جدول ۷). با شمارش و مقایسه تعداد، شدت و تکرار خشکسالی های رخ داده در ایستگاه فردوس بر اساس سه شاخص خشکسالی مشخص شد که شاخص های SPI، RAI و SIAP تقریباً هر ده سال دو دوره خشک را نشان داده اند. شکل ۶ نشان میدهد که منطقه فردوس نیز همانند

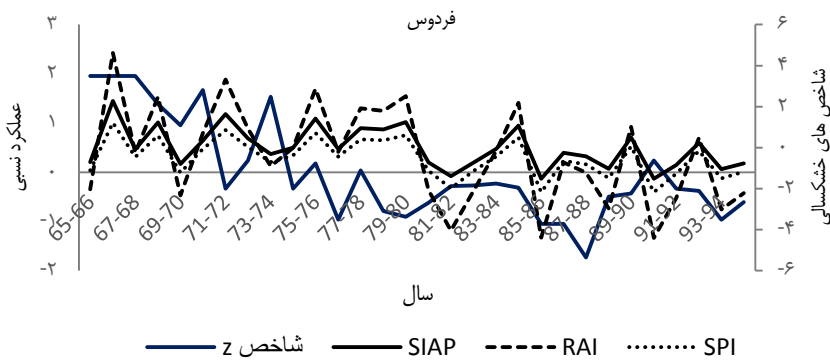


شکل ۴ - سری زمانی عملکرد نسبی زعفران و شاخص RAI، شاخص SIAP در گناباد طی سال های ۹۵-۱۳۶۵



شکل ۵ - سری زمانی عملکرد نسبی زعفران با شاخص SPI، شاخص RAI و شاخص SIAP در قائن طی سال های ۹۵-۱۳۶۵



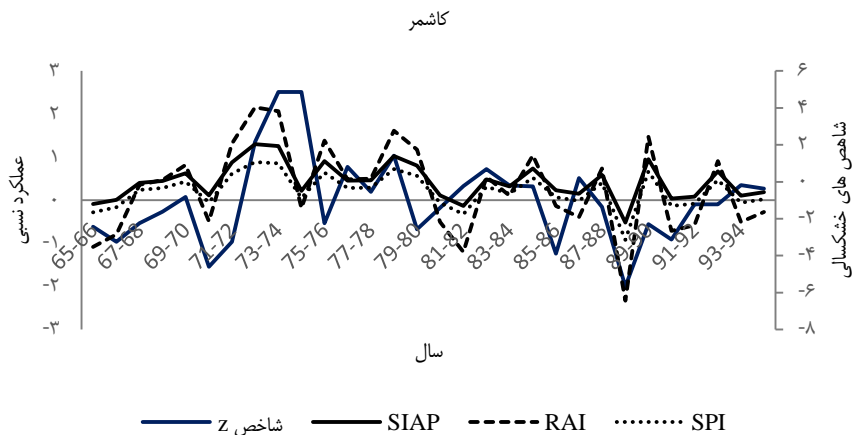


شکل ۶- سری زمانی عملکرد نسبی زعفران با شاخص SPI، شاخص RAI و شاخص SIAP در فردوس طی سالهای ۹۵-۱۳۶۵

نرمال، خشکسالی متوسط و سال نرمال را برای این سال نشان داده اند. شدت تغییرات سالانه در این منطقه نسبتاً شدید بوده است. بر مبنای شکل ۷ شدیدترین خشکسالی با عملکرد ۰/۸ کیلوگرم در هکتار با ۶۴/۷ میلیمتر بارندگی در سال ۸۹-۸۸ نشان داده شده است. و دوره های ترسالی نیز در سال های ۷۴-۷۳ به وقوع پیوسته است. روند عملکرد زعفران در کاشمر طی دوره ۳۰ ساله مطالعه از شاخص های SIAP, RAI, SPI تبعیت دارد. وجود همبستگی معنی دار با هر یک از شاخص ها نیز تایید کننده این امر می باشد (جدول ۷).

**کاشمر**

در شهرستان کاشمر (شکل ۷)، روند افزایش عملکرد از سال میدا (۱۳۶۵) به خوبی مشهود است. در پایان نیمه اول دوره (۱۳۷۵-۱۳۶۵) عملکرد به شدت کاهش یافته ولی سپس با صعود به مقادیر بالاتر تا پایان دوره روند صعودی را دنبال کرده، بطوریکه در نهایت روند افزایشی نامحسوسی پیدا کرده است. بیشترین عملکرد دوره به میزان ۶ کیلوگرم در هکتار با ۱۵۹/۸ میلیمتر بارندگی در سال ۷۴-۷۵ برآورد شده است که شاخص های SPI, RAI, SIAP به ترتیب سال



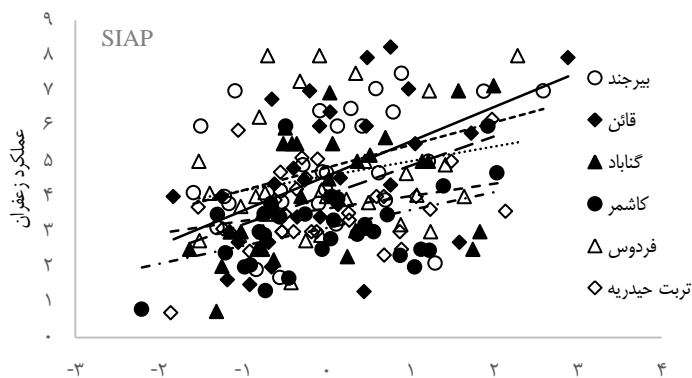
شکل ۷- سری زمانی عملکرد نسبی زعفران با شاخص SPI، شاخص RAI و شاخص SIAP در کاشمر طی سالهای ۹۵-۱۳۶۵

های قائن، گناباد همبستگی معنی داری در سطح ۱٪ و در شهرستان های بیرجند، کاشمر همبستگی در سطح ۵٪ و در شهرستان های فردوس و تربت حیدریه همبستگی را نشان ندادند (جدول ۷).

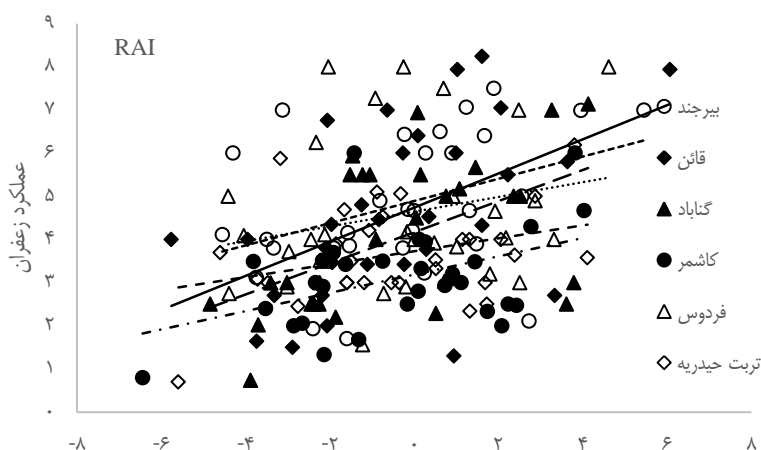
رابطه بین عملکرد محصول زعفران و شاخص های خشکسالی هواشناسی به وسیله همبستگی خطی محاسبه و نمایش داده شد (شکل ۸). تمامی شاخص های خشکسالی هواشناسی شامل SPI, SIAP, RAI، در ارتباط با عملکرد محصول زعفران در شهرستان

جدول ۸- ضریب همبستگی و سطح معنی داری رگرسیون شاخص های خشکسالی با عملکرد زعفران

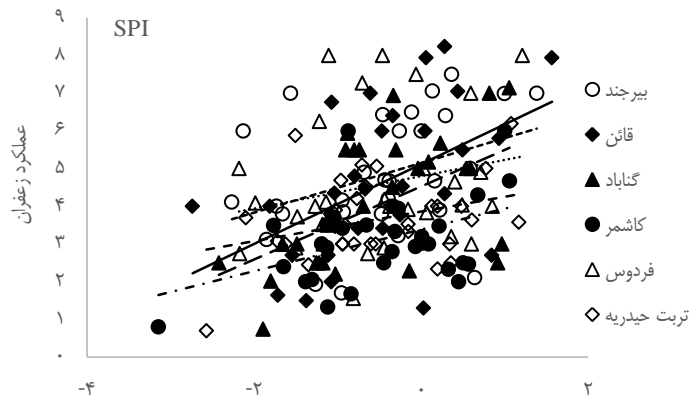
ایستگاه شاخص خشکسالی	بیرجند	قائن	گناباد	فردوس	کاشمر	تربت حیدریه
SPI	۰/۳۷۳*	۰/۴۸۹**	۰/۵۲۲**	۰/۲۲۳	۰/۴۳۹*	۰/۳۲۳
RAI	۰/۳۸۸*	۰/۵۰۳**	۰/۵۱۵**	۰/۲۳۱	۰/۴۳۹*	۰/۳۲۲
SIAP	۰/۳۹۷*	۰/۴۹۴**	۰/۴۸۶**	۰/۲۳۵	۰/۴۳۵*	۰/۳۱۳



SIAP	عملکرد زعفران
بیرجند	$y = 0/6449x + 4/8173$
قائن	$y = 0/9808x + 4/584$
گناباد	$y = 0/8333x + 4/041$
کاشمر	$y = 0/5095x + 3/1083$
فردوس	$y = 0/4175x + 4/5847$
تربت حیدریه	$y = 0/3514x + 3/6637$



RAI	عملکرد زعفران
بیرجند	$y = 0/2575x + 4/892$
قائن	$y = 0/3958x + 4/7426$
گناباد	$y = 0/3608x + 4/1712$
کاشمر	$y = 0/2115x + 3/188$
فردوس	$y = 0/1707x + 4/6455$
ترت حیدریه	$y = 0/15x + 3/7294$



SPI	عملکرد زعفران
بیرجند	$y = 0/6571x + 5/1454$
قائن	$y = 1/0589x + 5/1176$
گناباد	$y = 0/9698x + 4/528$
کاشمر	$y = 0/5537x + 3/3847$
فردوس	$y = 0/4284x + 4/7993$
ترت حیدریه	$y = 0/3923x + 3/8619$

شکل ۸ - ارتباط بین شاخص های خشکسالی هواشناسی و عملکرد زعفران در شهرستان های مورد مطالعه طی سال های ۱۳۹۵-۱۳۶۵

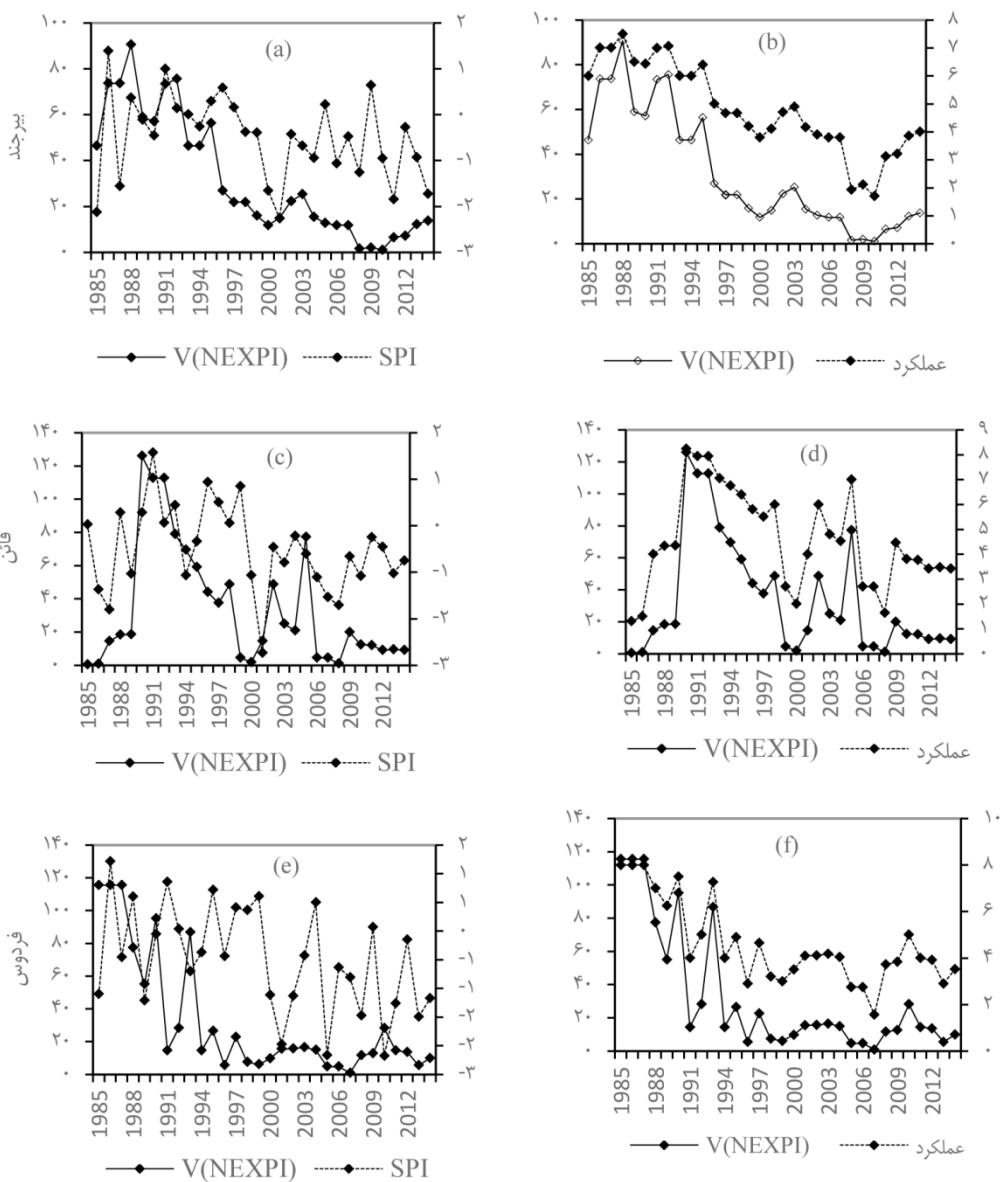
### ارزیابی آسیب پذیری

بدست آمده است (شکل ۹ (c)). نتایج حاصل از آسیب پذیری در شهرستان فردوس نشان داد در سالهای ۶۷-۶۶-۶۵ با بیشترین عملکرد زعفران معادل ۸ کیلوگرم در هکتار، میزان آسیب پذیری متوسط ( $100 < V_{NEXPI} < 150$ ) بوده است. همچنین در سال ۱۳۸۷ با کمترین عملکرد حدود ۱/۵۶ کیلوگرم در هکتار، آسیب پذیری بسیار کم ( $V_{NEXPI} > 50$ ) بوده است. در سال ۱۳۸۱ با خشکسالی شدید هواشناسی، آسیب پذیری بسیار کم ( $V_{NEXPI} > 50$ ) مشاهده شد. گناباد در سال ۱۳۷۱، بیشترین عملکرد با آسیب پذیری کم ( $100 < V_{NEXPI} < 150$ ) و در سال ۱۳۸۸، کمترین عملکرد با آسیب پذیری بسیار کم ( $V_{NEXPI} > 50$ ) را دارا بوده است (شکل ۱۰ (a)). همچنین در سال های ۸۵، ۸۸، ۹۵ با خشکسالی های شدید، آسیب پذیری کشاورزی کم ( $100 < V_{NEXPI} < 150$ ) گزارش شده است ( $SEN > 50$ ). در کاشمر بیشترین عملکرد با ۴/۶۷ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۷۲ و کمترین عملکرد با ۰/۸ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۸۸ به دست آمد که آسیب پذیری بسیار کم ( $V_{NEXPI} > 50$ ) بوده است (شکل ۱۰ (c) (d)). با توجه به خشکسالی های شدید نیز در

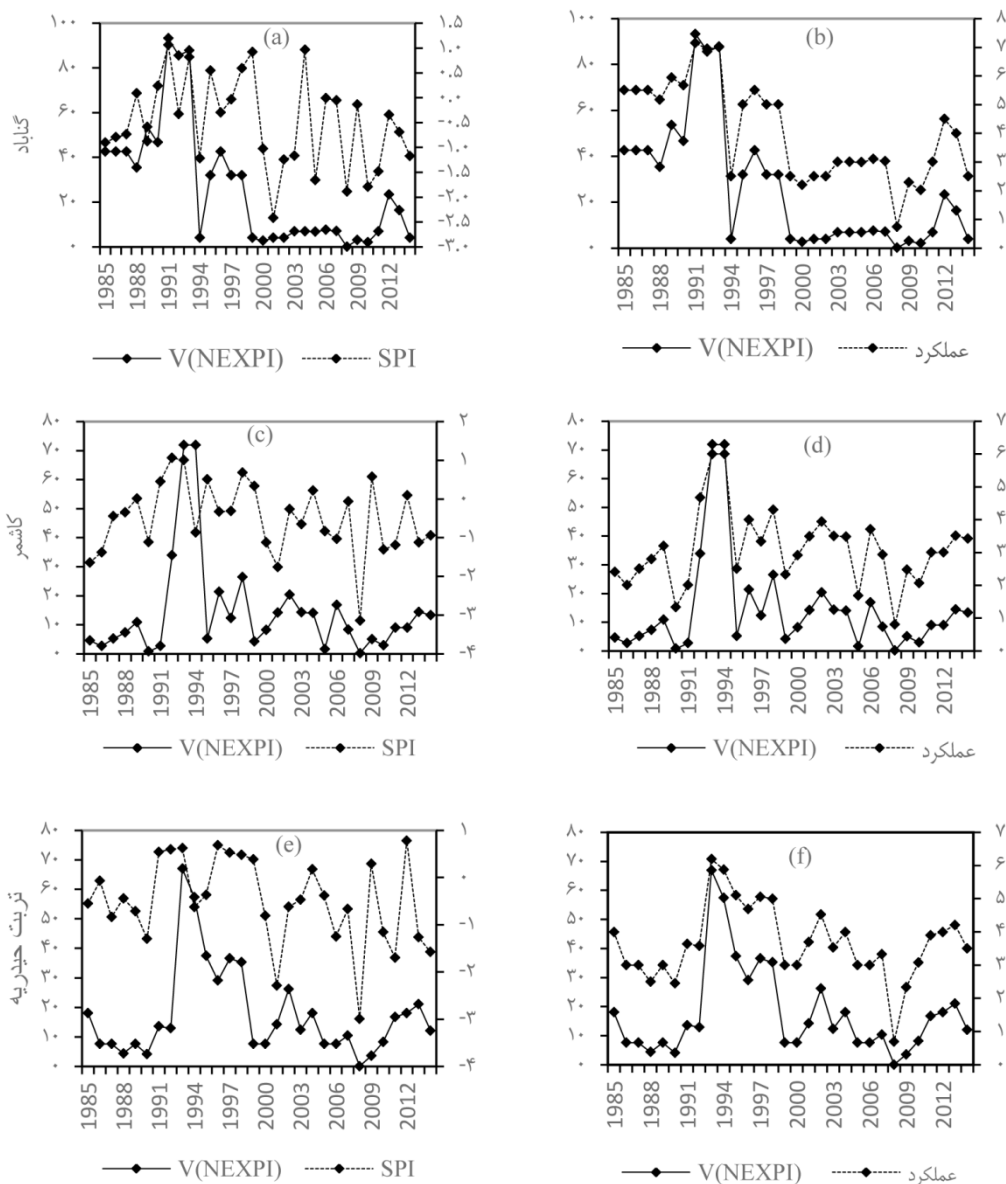
روند آسیب پذیری محصول زعفران در شکل ۹ (a) نشان می دهد که شهرستان بیرجند در سال ۱۳۶۸ بیشترین عملکرد معادل ۷/۵ کیلوگرم در هکتار و درجه ی آسیب پذیری کم ( $V_{NEXPI} < 100$ ) و در سال ۱۳۹۰ کمترین عملکرد معادل ۱/۷ کیلوگرم در هکتار و درجه ی آسیب پذیری بسیار کم ( $V_{NEXPI} > 50$ ) را دارا بوده، که این امر به علت درجه کم حساسیت سیستم می باشد ( $SEN > 50$ ). آسیب پذیری بسیار کم کشاورزی ( $V_{NEXPI} > 50$ ) به خشکسالی های شدید هواشناسی در سال های ۶۷ و ۸۰ و ۹۱ و ۹۴ در شکل ۹ (b) ارائه شده است. بر اساس داده های آسیب پذیری، قائن در سال ۱۳۷۰ با آسیب پذیری متوسط ( $100 < V_{NEXPI} < 150$ ) بیشترین عملکرد معادل ۸/۲۴ کیلوگرم در هکتار را داشت و در سال ۱۳۶۵ با آسیب پذیری بسیار کم ( $SEN > 50$ )، کمترین عملکرد معادل ۱/۳ کیلوگرم در هکتار را به خود اختصاص داد همچنین شاخص SPI در سال های ۶۷، ۸۷ و ۸۸ خشکسالی شدید را نشان داده است در حالی که درجه آسیب پذیری کشاورزی به خشکسالی بسیار کم ( $V_{NEXPI} > 50$ )

ترتیب در سال های ۱۳۷۳ و ۱۳۸۸ مشاهده گردید. همچنین با توجه به خشکسالی شدید در سال های ۹۱ و ۹۴، در این سال ها آسیب پذیری بسیار کم ( $V_{NEXPI} > 50$ ) گزارش شده است.

سال های ۶۵، ۸۱ آسیب پذیری بسیار کم ( $V_{NEXPI} > 50$ ) مشاهده گردید. با توجه به شکل (e) (f) ملاحظه می شود که در شهرستان تربت حیدریه بیشترین عملکرد با آسیب پذیری کم ( $< 100$ ) و کمترین عملکرد با آسیب پذیری بسیار کم به



شکل ۹ - نمودار آسیب پذیری کشاورزی به خشکسالی و محصول زعفران در خراسان جنوبی طی سال های ۱۳۶۵-۱۳۹۵



شکل ۱۰ - نمودار آسیب پذیری کشاورزی به خشکسالی و محصول زعفران در خراسان رضوی طی سال های ۱۳۹۵-۱۳۶۵

که کاهش عملکرد استان خراسان رضوی و جنوبی در طی ۱۰ سال گذشته بطور قابل توجهی تحت تاثیر خشکسالی به ویژه بارندگی و درجه حرارت بیشینه قرار دارد. شاخص های SIAP, RAI و SPI روندی تقریباً همسو با شاخص زراعی عملکرد نسبی زعفران داشتند. لیکن شاخص SIAP و SPI از نظر شدت خشکسالی های برآوردی با شاخص زراعی عملکرد نسبی زعفران همخوانی مطلوب تری داشت. در مقایسه شاخص ها با عملکرد زعفران مشاهده می شود که در سال هایی که درجه خشکسالی بسیار شدید بوده است عملکرد زعفران هم به شدت پایین بوده است و به همان نسبت در سال های

### نتیجه گیری

بر اساس یافته های این پژوهش، شاخص های RAI, SIAP و SPI شدت و تداوم خشکسالی سالیانه را در سطح منطقه خراسان رضوی و جنوبی به خوبی برآورد کرده اند. نتایج آنالیز روند ۳۰ ساله عملکرد زعفران در ۶ شهرستان اصلی تولیدکننده این محصول در استان خراسان نیز نشان داد که صرفنظر از نوسانات سالانه اقلیم، در کلیه شهرستان های تحت بررسی، عملکرد زعفران پس از یک افزایش قابل ملاحظه در فاصله زمانی ۷۴-۶۶ در طی سال های بعدی دوره، روند نزولی را دنبال کرده است. همچنین نتایج نشان داد

83.3: 1149–1165.

Hosseini, M., Mollafilabi, A., Nassiri, M. 2008. Spatial and temporal patterns in Saffron (*Crocus sativus* L.) yield of Khorasan province and their relationship with long term weather variation. 10.6: 79-80

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Working Group III Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 895–896.

Li Y, Yao N, Sahin S, et al. 2017. Spatiotemporal variability of four precipitation-based drought indices in Xinjiang, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 129.3–4 : 1017–1034.

Mckee, B.T., Nolan, J and Kleist, J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales,” *Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology*, 15-20 January 1995, Dallas, TX, American Meteorological Society 233-236.

Morid S, Smakhtin V, Moghaddasi M. 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, 26.7: 971–985.

Potop V, Boroneanț C, Možný M, et al. 2014. Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, 115.3–4: 563–581.

Ren, X. 2007. *Agricultural Vulnerability to Drought in Southern Alberta: A Quantitative Assessment*, University of Lethbridge, Canada.

Willeke G, Hosking J R M, Wallis J R, et al. 1994. The national drought atlas. In: *Institute for Water Resources Report 94-NDS-4*. U.S Army Corp of Engineers, CD-ROM. Norfolk, VA.

Wu, H., M.J. Hayes, A. Weiss and Q. Hu. 2001. An Evaluation of the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. *International Journal of Climatology*, 21: 745-758

Yu G, Sauchyn D, Li Y F. 2013. Drought changes and the mechanism analysis for the North American Prairie. *Journal of Arid Land*, 5.1: 1–14.

Zweirs, W.F and Storch, V.H . 2004. “On the of Statics in Climate Research” *Int. J.*

با درجه خشکسالی شدید و متوسط کاهش عملکرد زعفران از شدت کمتری برخوردار است. بر این اساس روند تغییرات عملکرد زعفران از تغییرات بارندگی نیز تبعیت داشته و بنظر می رسد که با تداوم تغییرات بارندگی و خشکسالی عملکرد زعفران در سال های آینده روند کاهشی خود را ادامه خواهد داد. در این پژوهش، نتایج مطالعه موردی نشان می دهد که ارزیابی خشکسالی و آسیب پذیری کشاورزی مورد انتظار می تواند به عنوان یک ابزار موثر و قدرتمند برای نشان دادن الگوی احتمالی آسیب پذیری کشاورزی به خشکسالی در آینده استفاده شود. در این پژوهش، نتایج بررسی آسیب پذیری در طی سال های ۹۵–۶۵ نشان داد عملکرد زعفران در تمام مناطق مورد مطالعه، حساسیت کم به دوره خشکسالی داشته است.

## منابع

Adger, W.N . 2006. *Vulnerability*, *Glob. Environ. Chang.* 16 : 268–281.

Banezhad, H., Zare Abniyeh, H. 2006. Application of the standard SPI precipitation standard with statistical methods in the meteorological drought analysis of Hamadan province. 61-73

Bazrafshan, J. 2009. Comparative study of some indicators of meteorological drought in several climatic samples of Iran, Tehran University.

Byun H R, Wilhite D A. 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 12.9: 2747–2756.

Dinpashoh Y, 2006. Study of reference crop evapotranspiration in I.R. of Iran. *Agricultural Water Management* 84: 123- 129

Escalante-Sandoval C, Nuñez-Garcia P. 2017. Meteorological drought features in northern and northwestern parts of Mexico under different climate change scenarios. *Journal of Arid Land*. 1: 65–75.

Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., & Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 80.3: 429-438.

Heim Jr R R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*.



## Drought and Vulnerability Assessment in the Fluctuation of Saffron Production Affected by Rainfall Shortage Case study: Razavi and South Khorasan province

M. Karimi<sup>1</sup>, M. Bannayan Aval\*<sup>2</sup>, M. Mousavi Baygi<sup>3</sup>

Received: Sep.23, 2018

Accepted: Dec.09, 2018

### Abstract

Drought as one of the most important natural disasters affects communities directly through changes in access to water resources, resulting in major damage to human life and natural ecosystems. Agricultural vulnerability can be referred to the degree that agricultural systems may experience harm due to a stress. In this study, for the purpose of quantitative measurement of meteorological drought The standardized precipitation indices (SPI), rainfall anomalies (RAI) and annual precipitation criteria (SIAP) were used based on the monthly precipitation of 6 meteorological stations in Razavi and southern Khorasan provinces during 30 years (1364-1394) in Iran. Saffron relative yield index was used to study the effects of meteorological drought on agriculture. The severity of droughts was in severe and very severe mode. The SIAP, RAI and SPI indices have shown a trend consistent with the crop indices of saffron. However, the SIAP and SPI were more favorable in terms of the severity of estimated droughts with relative performance index. Drought indices in saffron producing cities in Razavi and South Khorasan provinces over the past 10 years have been significantly correlated with relative decline in saffron yield during this period. The results showed that in all the study locations the saffron production was low sensitive to drought in this period.

**Keywords:** Time scale, Natural disasters, Relative performance, Standardized precipitation index

---

1- Ph.D. Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(\*- Corresponding Author: mobannayan@yahoo.com)